

대형정수식물을 활용한 높은 생산성의 인공습지 조성 및 관리

홍문기 · 허영진* · 김재근+

서울대학교 생물교육과

* 일송환경복원(주)

The Construction and Management of Artificial Wetland Using Emergent Macrophytes for High Biomass Production

Mun Gi Hong · Heo Young Jin* · Jae Geun Kim⁺

Department of Biology Education, Seoul National University

* Il Song ERT., Co., Ltd.

요 약

높은 생산성을 위한 인공습지 조성 및 관리 방안 제시를 위해 세 가지 대형정수식물(갈대, 애기부들, 줄)을 두 가지 매질 조건(개별 매질과 혼합 매질)과 두 가지 수위 조건(5 cm와 20 cm)에 식재한 뒤 3년간의 모니터링을 수행하였다. 그 결과 줄의 경우 조성 환경에 상관없이 첫 해 초기 생육(최대 초고, 약 200 cm; 최대 지상부 생산성 약 500 g/m²)뿐만 아니라 3 년경과 후 최종 생육(줄, 약 1,100 g/m²; 애기부들, 770 g/m²; 갈대, 450 g/m²)에 있어, 전반적으로 갈대나 애기부들에 비해 월등하게 나타났다. 특히 초기 생육이 좋았던 줄은 자연적으로 유입돼 발생하는 잡초들에 의한 피해가 거의 없었던 반면 갈대나 애기부들의 경우 다년생 잡초를 포함한 여러 잡초와의 중간 경쟁으로 생육이 다소 부진하였다. 특히 얇은 수심 환경과 moss peat를 포함한 혼합 매질 조건에선 식재종들의 생육이 전반적으로 부진하였으며, 그로 인해 잡초들의 생육이 상대적으로 좋았다. 높은 지상부 생산성을 위한 인공습지 조성을 위해선 줄과 같이 생육 환경에 크게 구애받지 않으며 초기 생육이 뛰어난 종의 선발을 통해 자연유입 잡초나 야생동물 등에 의한 피해를 최소화시켜야 할 것이다. 만약 줄이 아닌 갈대나 애기부들과 같은 종을 식재하고자 한다면 온실과 같은 환경에서 일정 수준 이상 생육시킨 뒤 식재함으로써 더욱 경쟁력을 제고시킬 수 있을 것이다. 더불어 높은 지상부 생산성을 위한 인공습지를 지속적으로 유지시키기 위해선 한두 가지 선택지가 아닌 제초와 관련된 최적의 관리방안들을 적시에 활용하는 통합적 잡초 관리 시스템의 적용을 제안하는 바이다.

핵심용어 : 갈대, 매질, 애기부들, 수위, 줄

Abstract

To present a guideline on the construction and management of artificial wetlands for high biomass production, three emergent macrophytes (*Phragmites australis*, PA; *Typha angustifolia*, TA; and *Zizania latifolia*, ZL) were planted under two substrates conditions (general soil with and without moss peat) and two water levels (5 cm and 20 cm) and monitored for three years. ZL showed greater growth performance rather than the others not only at early growth phase in the first year [shoot height, 200 cm; above-ground dry weight (AGDW), 500 g/m²] but also in the last year (ZL, 1,100 g/m²; TA, 770 g/m²; and PA, 450 g/m² of AGDW). ZL with rapid growth at the early growth phase was not affected by naturally introduced weeds, whereas slower and poorer growth of PA and TA at the early growth phase resulted in relatively higher introduction and establishment of natural weeds. In turn, such introduced weeds negatively contributed to the growth of PA and TA particularly under shallow water (5 cm) with the substrate condition including moss peat. We suggest a plant material with rapid and great growth at the early phase such as ZL for reducing possible negative influences by the natural weeds and wild animals for high biomass production in constructed wetlands. A pre-growing process in greenhouse prior to planting might be an useful option to raise the competitiveness of those species when planting PA and/or TA. In addition, we recommend that integrated weed management system with utilizing various options at the most appropriate timing must be applied for maintaining sustainable high biomass production at the artificial wetlands.

Keywords : *Phragmites australis*, substrate, *Typha angustifolia*, water level, *Zizania latifolia*

⁺ Corresponding author : jaegkim@snu.ac.kr

1. 서론

습지생태계는 육상생태계와 수생생태계의 전이지대로서 다양한 종들이 서식할 뿐만 아니라 열대우림 다음으로 높은 생산성을 보이는 등 높은 가치를 지닌 생태계로 인식되고 있다(Gren et al., 1994; Costanza et al., 1997). 습지생태계가 수행하는 다양한 기능과 그에 따른 가치가 계속적으로 입증됨으로써 습지는 더 이상 오폐수로 인한 모기 등의 해충과 병원균들의 온상이 아닌, 오히려 인간 활동 등에 따른 수질문제를 해결하고 다양한 생물들의 서식처로서 그 중요성이 계속적으로 강조되고 있는 추세다(Rejmánková, 2011). 그러한 습지생태계의 다양한 기능과 높은 가치는 기존 습지의 보존 및 관리와 더불어 훼손된 습지를 복원하고 대체하기 위한 인공습지 조성의 필요성을 대두시켰다(Mitsch and Wilson, 1996; Kim et al., 2013b).

특정 지역의 기후나 지형, 수질 및 토질 등에 따라 습지의 기능과 가치가 결정되는 자연습지와는 달리 인공습지의 경우 조성 목적과 목표 등에 따라 습지의 이화학적 특성 및 습지 내 서식종을 달리한다(Choung and Roh, 2002; Kwon et al., 2010). 즉, 특수한 목적성을 띠는 인공습지의 경우 그러한 목적 달성을 위한 설계와 조성이 필수적이며 사후 모니터링 및 관리를 통해 해당 습지가 기존의 목적에 따른 기능을 지속적으로 수행할 수 있도록 해야 한다(Overton and Stehman, 1996).

우리나라의 경우 주로 수질정화 목적으로 여러 가지 형태의 인공습지가 조성되어 왔으며 그와 관련하여 수질정화 효율에 관한 연구 또한 함께 병행돼 왔다. 인공습지를 통한 수질정화에 관한 기존 연구들의 경우 주로 탈질화를 통한 질소 제거와 표면적이 높은 습지식물의 뿌리나 자갈 및 모래 등의 매질을 활용한 흡착을 통한 인 제거에 관해 다뤄왔다(Nam et al., 2004; Lee et al., 2011; Lee and Cho, 2011; Kim et al., 2012; Lee and Sung, 2013).

최근에는 오폐수 내 풍부한 양분을 흡수하여 생육이 좋은 갈대(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), 부들류(*Typha* spp.) 및 억새류(*Miscanthus* spp.)와 같은 습지식물을 습지에 그대로 방치시키는 것이 아니라 수확한 뒤 이차 처리를 통해 바이오에탄올이나(Lee et al., 2009; Kim and Kim, 2010) 가축의 사료(Seo et al., 2011; Seo et al., 2012) 등으로 활용하는 방안이 점차 그 적용범위를 넓혀가고 있다. 예컨대,

축산 폐수 처리를 위한 인공습지를 통해 질소와 인을 흡수한 습지식물을 수확한 뒤 다시 축산 사료로 가공하여 활용할 수 있다.

인공습지의 높은 생산성을 위해선 생산자로서 최적의 식물종에 대한 적절한 선발이 우선적으로 이뤄져야 하며 더불어 해당 식물종의 최적 생육을 보장하는 환경 조성과 지속적인 사후 관리가 수반되어야 한다. 이를 위해선 다양한 습지식물종 중 높은 생산성을 보이는 식물종들에 대한 우선적인 선별작업이 필수적이며 해당종들이 선호하는 환경에 대한 파악과 이해가 선행되어야 한다(Tanner, 1996; Yi et al., 2009; Seo et al., 2006). 그 뿐만 아니라 인공습지 조성 및 식물 식재 이후 어떠한 관리가 병행될 때 인공습지가 기존의 조성 목적대로 유지될 수 있는지에 대한 방안 마련도 필수적이다(Overton and Stehman, 1996).

그럼에도 불구하고 우리나라의 경우 이에 관한 연구가 사실 상 굉장히 미진하며 국외 사례 등을 그대로 도입·적용하는 것 또한 우리의 실정과 맞지 않아 인공습지 조성을 통한 충분한 산물 도출을 기대하기 어려운 것이 사실이다. 본 연구는 습지 조성 후 약 3년에 걸쳐 수행된 모니터링 형태로 진행되었으며, 국내외 사례를 토대로 적정 식물종을 1차 선별한 뒤 여러 가지 매질 및 수위 조건에 적용해봄으로써, 높은 생산성이 확보된 인공습지 조성을 위한 가이드라인을 제시하고자 하였다. 뿐만 아니라 다양한 환경조건에서의 자연잡초 발생 양상 분석 등을 통해 습지 조성 후 적정 관리 방안도 함께 제안하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 인공습지 설계 및 조성

인공습지는 충청북도 청주시에 위치한 계단식 논 근처(36°38'22.71"N, 127°36'10.53"E; 해발고도 약 210 m)에 조성되었으며, 평균 강우 및 기온 등은 전형적인 몬순기후대의 특성을 보였다(Fig. 1). 주변 집수역으로부터 모여 지속적으로 흐르는, 비교적 맑은 계곡수를 인공습지의 수원으로 활용하였으며(Table 1) 자동급수장치를 통해 습지 내로 지속적인 공급이 이뤄질 수 있도록 하였다.

약 1,000 m²(40 m × 25 m) 면적의 인공습지는 총 40개(36개의 실험구 및 4개의 대조 실험구)의 실험구(3 m × 3 m)로 구성되었으며 동일한 조건의 실험구가

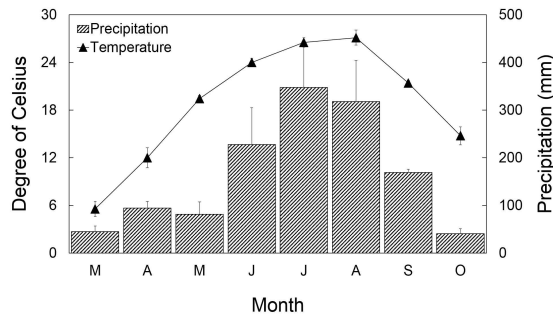


Fig. 1. Temperature and precipitation in the constructed wetland during the experimental period (2011.3 ~ 2013.10). SE bars are shown.

서로 인접하지 않도록 임의배치 하였다. 전체 실험구는 사전 선별과정을 통해 선발된 세 가지 식재 식물(갈대, *Phragmites australis*; 애기부들, *Typha angustifolia*; 줄, *Zizania latifolia*)과 두 가지 수위 조건(얕은 수심, 5 cm와 깊은 수심, 20 cm) 그리고 두 가지 매질 조건(개별매질과 혼합매질) 등 총 12가지 조합으로 구성되었으며, 각 조합별로 세 개의 반복 실험구를 준비하였다. 자연유입 잡초의 생산성 등을 파악하기 위해 4개의 대조구(식물을 식재하지 않은 채 두 가지 수심 조건과 두 가지 매질 조건을 혼합한 개별 대조구)를 추가적으로 구성하였다(Fig. 2).

갈대 및 애기부들 등의 세 가지 대형정수식물은 우리나라에서 흔히 관찰되는 대형정수식물들 중 다양한 환경분포와 높은 생물량을 보이는 종으로서 문헌 연구 및 현장조사 등을 통해 최종 선발하였다(Cho and Kim, 1994; Choung and Roh, 2002; Kwon et al., 2006; Seo et al., 2006; Rejmánková, 2011). 최종 선발된 위 세 종은 종자를 노지에서 발아시킨 후 1년 간 생육을 거친 2년생 형태로 인공습지에 식재되었으며 첫 해 식재 당시 초장은 갈대(약 10 ~ 15 cm 수준)가 애기부들(약 20 cm 수준)과 줄(약 20 cm 수준)에 비해 상대적으로 짧았다. 개별 실험구마다 각 종별로 총 36개의 개체를 정사각형 형태의 선상으로 식재하였으며(10-8-10-8) 개체 간 간격은 20 ~ 30 cm 정도가 되도록 하였다(실험구 내 식재 종의 초기 피도는 5% 이하).

매질조건의 경우 개별 매질(separated substrate, Sep.)과 혼합 매질(mixed substrate, Mix.)로 구분하였다. 개별 매질 조건의 경우 일반적으로 대형정수식물 식재 시 활용되는 매질(모래를 포함한 마사토)만을 활용하였으며, 혼합 매질 조건의 경우 물이끼류(*Sphagnum* spp.) 등을 부속시켜 만든 유기질매질과 모래를 포함

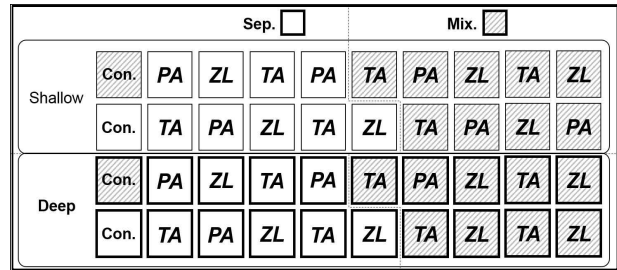


Fig. 2. Experimental design and plots arrangement in the constructed wetland. PA = *Phragmites australis*. TA = *Typha angustifolia*. ZL = *Zizania latifolia*. Sep. = separated substrate. Mix. = mixed substrate. Con. = control plot.

한 마사토(개별 매질 조건의 매질과 동일)를 1:1 비율로 섞어 활용하였다. 식재종의 생육과 자연유입 잡초종의 발생특성 등에 영향을 미치는 중요한 환경인자로서 매질과 함께 수위 조건을 추가적으로 고려하였다. 수위 조건의 경우 상대적으로 얕은 수심인 5 cm 조건과 상대적으로 깊은 수심에 해당하는 20 cm 조건을 설정하였다.

2.2 인공습지 내 매질의 이화학적 특성

물이끼류 사체 등 유기물질을 다량 포함한 moss peat가 섞인 혼합 매질과 모래 등을 포함하는 마사토로만 구성된 개별 매질 간엔 양분 수준에 있어 차이가 나타날 것으로 예상하였다. 매질의 이화학적 특성이 식재식물의 생육이나 자연유입 잡초 발생 등에 미치는 영향을 파악하기 위해 인공습지 조성 약 1년경과 후인 2012년 봄, 모든 조사구로부터 일정량의 매질을 채취하였다(조성 매질과 수위 조건의 안정화 과정을 거친 이후의 매질 분석을 위해 조성 직후가 아닌 1년경과 뒤 이화학적 분석을 수행하였다).

조성환경별 매질 분석 결과 매질 내 양분 수준의 경우 수심에 의한 차이 및 경향성 등은 확인되지 않았으며, 예상대로 혼합 매질인지 여부(moss peat의 혼합 여부)가 보다 유의미한 차이의 원인인 것으로 확인되었다(Table 1). 유기물함량(loss on ignition, LOI), PO₄-P, 양이온 등 거의 대부분의 양분들에 있어 혼합 매질 조건에서 더 높은 수준으로 검출되었다. 혼합 매질 중 PO₄-P의 경우 개별 매질에 비해 거의 두 배 수준으로 높게 검출되었다. 그에 반해 NO₃-N의 경우 혼합 매질과 개별 매질 조건 간 차이가 없었으며, NH₄-N의 경우 특별한 경향이 없는 것으로 확인되었다(Table 1).

Table 1. Physio-chemical characteristics of inflow water and substrates in the constructed wetland.

Inflow water (n = 7)	pH (-)	EC (μ S/cm)	PO ₄ -P (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)
Mean ± 1SE	7.0 ± 0.1	154.3 ± 12.5	0.05 ± 0.01	0.67 ± 0.09	0.05 ± 0.01	3.2 ± 1.3	16.1 ± 2.0	3.9 ± 0.3	2.7 ± 0.4
Substrate	Water level	LOI (%)	PO ₄ -P (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	K ⁺ (mg/kg)	Ca ²⁺ (mg/kg)	Na ⁺ (mg/kg)	Mg ²⁺ (mg/kg)
Sep. (each n = 3)	Shallow (5 cm)	2.3 ± 0.2a	10.4 ± 0.9a	2.4 ± 0.7a	0.71 ± 0.20b	520.9 ± 26.7a	923.2 ± 51.9a	75.6 ± 4.5a	487.3 ± 17.9a
	Deep (20 cm)	2.4 ± 0.6a	10.2 ± 1.9a	2.4 ± 0.5a	0.55 ± 0.18ab	511.6 ± 22.0a	859.1 ± 47.8a	77.5 ± 6.7a	485.3 ± 30.7a
	Shallow (5 cm)	4.0 ± 0.2b	18.8 ± 1.1b	2.6 ± 0.5a	1.09 ± 0.25c	591.3 ± 21.0b	1169.5 ± 59.0b	108.4 ± 12.0b	632.3 ± 26.4b
Mix. (each n = 3)	Deep (20 cm)	4.7 ± 0.6b	19.1 ± 2.0b	2.6 ± 0.7a	0.27 ± 0.18a	612.7 ± 33.2b	1299.2 ± 120.0b	110.1 ± 13.8b	667.5 ± 56.1b

2.3 식물 생육 모니터링

식재식물 생육 측정의 경우 습지조성이 이뤄진 2011년부터 매년 초가을(9월)에 수행하였으며(2011 ~ 2013년), 각 실험구별로 식재 식물의 지상부 건중량(3 반복)과 초고를 측정하였다(초고의 경우 개별 방형구를 대표할 수 있는 ramet을 10개체씩 선정한 뒤 측정 한 초고의 평균값을 활용하였다). 모니터링이 종료된 2013년, 보다 정밀한 생육분석을 위해 실험구별 식재종의 밀도와 피도를 측정하였다(3반복). 지상부 건중량을 위한 수확의 경우(3반복), 각 실험구를 대표 할 수 있는 ramet을 부분적으로 수확한 뒤 전체 밀도 (ramet의 수)를 고려하여 총 건중량으로 환산하였다. 대조구의 경우 25 cm × 25 cm 면적의 가상 방형구를 세 개씩 임의 설치 뒤 수확(3반복)하였다. 수확한 지 상부 식물체는 실험실로 옮겨진 뒤 70℃의 건조기에 서 48시간 이상 건조시켜 저울을 통해 무게를 측정하 였다.

자연적으로 유입되는 잡초는 특별히 제거하지 않 았는데 이는 인공습지 내 조성 환경에 따른 식재종들 의 경쟁력과 자생력을 확인하기 위함일 뿐만 아니라 이후 높은 생산성을 위한 인공습지의 적정 관리 방안 마련을 위한 자료로 활용하기 위함이다. 자연유입 잡 초종에 대한 동정의 경우 Lee(2003)와 Oh(2006)를 참 고하였으며 정확한 학명파악을 위해 국가표준식물목 록(Korean Plant Names Index, 2007)을 활용하였다. 자 연유입 잡초종을 대상으로 한 개별 조사구별 우점종 조사의 경우 중요도(importance value, I.V.)를 근거로 결정하였으며 중요도는 상대밀도, 상대피도 및 상대

빈도를 토대로 산출하였다. 자연유입 잡초종의 구성 에 대한 분석 시 월년생과 목본은 각각 일년생과 다 년생에 포함시켰다.

매질 내 양분 분석 및 식물 생육 비교 시 사후 검 정은 Duncan의 사후 검정을 활용하였다($P < 0.05$). ANOVA 및 Duncan의 사후 검정을 포함한 모든 통계 분석은 통계프로그램인 statistics SPSS ver. 20.0 (for windows)을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조성 환경 조건에 따른 1차 선별종의 지상부 생육

세 종 모두 해를 거듭할수록 초고 및 지상부 생산 성 등 지상부 생육 전반이 크게 향상되었으며 이는 무성생식기관인 지하경이 매년 계속적으로 생장함에 따라 지상부 생장 또한 향상되는 다년생 식물의 전형 적인 특성이라 할 수 있다(Gross et al., 1991; Hong and Kim, 2013). 모니터링 마지막 해인 2013년을 기준 으로, 지상부 생산성의 경우 조성 환경별 편차는 있 었으나 평균적으로 줄(약 1,100 g/m²) - 애기부들(약 770 g/m²) - 갈대(약 450 g/m²) 순으로 높았다. 2013년 에 측정한 초고의 경우 앞선 경우와 마찬가지로 환경 별 편차가 컸으나 지상부 생산성과 정반대로 갈대(약 180 cm) - 애기부들(약 170 cm) - 줄(약 130 cm) 순 이었다(Fig. 3). 갈대의 경우 상대적으로 초고가 큰 반 면 밀도는 낮았고, 초고는 가장 작지만 월등히 높은 밀도의 양적 생장을 보인 줄이 가장 높은 지상부 생 산성을 보였다.

갈대와 애기부들의 경우 초기 생육이 줄에 비해

다소 불량하여 몇몇 개체는 따로 준비한 여분을 통해 재식재하기도 하였으며 생육이 다소 느린 개체들은 고라니나 까치 등의 야생동물들에 의한 피해에 취약한 모습을 보였다(초기 생육이 빠른 줄의 경우 야생동물에 의한 피해 사례가 확인되지 않았다). 그에 반해 줄의 경우 식재 첫해부터 왕성한 생육을 보였는데, 개별 매질 및 깊은 수심 조건의 경우 첫해 약 500 g/m²의 지상부 생산성과 약 200 cm 수준의 초고 성장으로 다른 두 종에 비해 상대적으로 뛰어난 생육이 확인되었다. 이는 깊은 수심 조건에서 상대적으로 경쟁력을 보이며, 유묘 등 상대적으로 어린 시기 생육이 다른 종들에 비해 빠른 줄의 생태적 특성이 반영된 결과로 볼 수 있다(Tanner, 1996; Asaeda et al., 2005; Seo et al., 2006). 초기 생육이 왕성한 줄에 비해 생육이 다소 불량하였던 갈대와 애기부들은 야생동물 등에 의한 피해뿐만 아니라 자연적으로 유입되는 잡초 등에 의한 종간 경쟁의 영향도 복합적으로

받아 상대적으로 첫해 생육이 전반적으로 불량했던 것으로 판단된다(Fig. 3).

수위 및 매질 조건에 따른 생육의 경우 세 종 모두 다소 유사한 경향을 보였다. 세 종 모두 얕은 수심 보다는 20 cm의 상대적으로 깊은 수심 조건에서 전반적으로 좋은 생육(지상부 생산성 기준)을 보였으며 매질의 경우 moss peat가 포함되지 않은 개별 매질 조건을 더 선호하는 것으로 확인되었다(Fig. 3). 상대적으로 깊은 수심 환경에서 주로 관찰되는 줄이나 애기부들과 같은 경우 오히려 적정 수준의 이상의 수위 환경에서 보다 좋은 생육을 보이는데(Kwon et al., 2006), 이는 오히려 깊은 수심 환경의 혐기성 환경이 일종의 신호로 작용하여 통기조직의 발달을 비롯하여, 침수환경 하에서의 생리·생태적 적응을 유도하기 때문인 것으로 알려져 있다(Inoue and Tsuchiya, 2006).

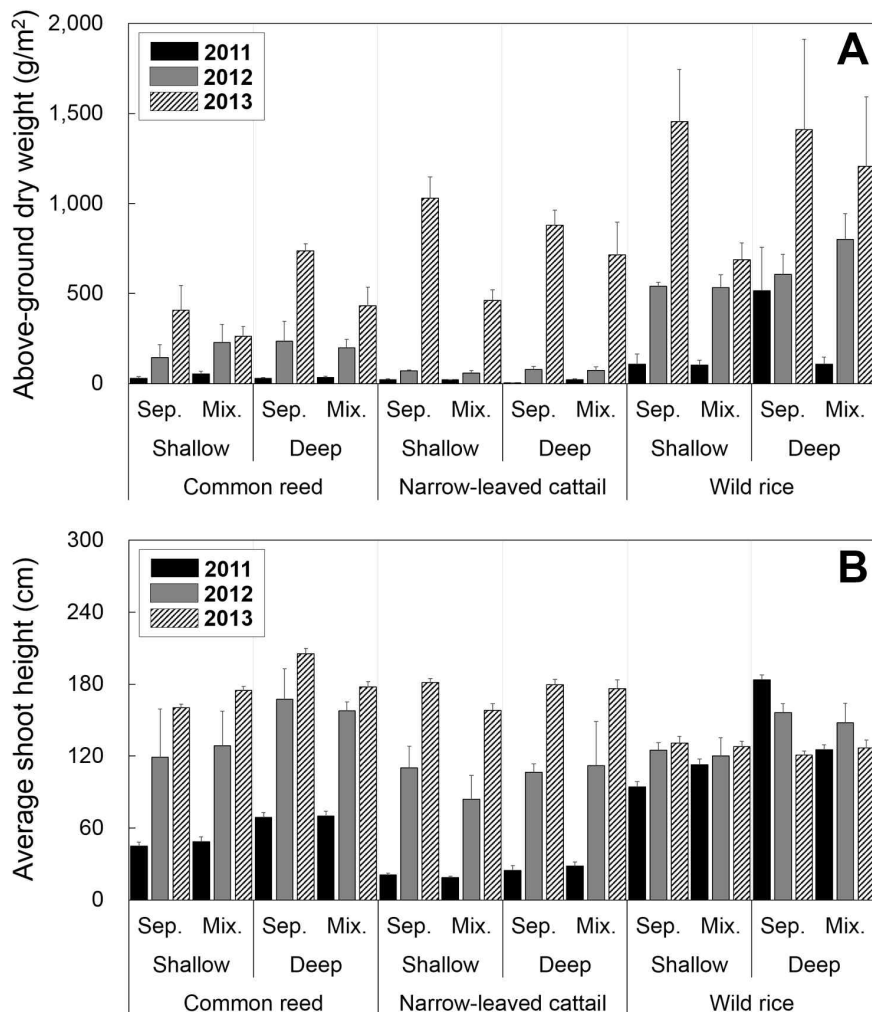


Fig. 3. Average above-ground dry weight (A) and shoot height (B) of planted species according to environmental conditions during the experimental period (2011 ~ 2013) (each n = 3). SE bars are shown.

20 cm의 수심 조건은 식재 식물들에게 침수스트레스로 작용했다기보다 오히려 매질로부터 양분흡수가 용이해지도록 하는 환경인자로 작용한 것으로 판단된다(Inoue and Tsuchiya, 2006). 갈대와 같은 대형정수식물의 경우 일반적으로 일정 수준 이상의 수심 환경에 지속적으로 노출될 경우 상대적으로 지하부 생육이 불량해짐에도 불구하고 낮은 산소 및 빛 조건을 극복하기 위한 초고 성장에 집중적으로 양분을 활용하는 일종의 형태적 가소성을 보인다(Mauchamp et al., 2001; Vretare et al., 2001). 본 연구에선, 세 종 모두 깊은 수심 환경에서 보다 좋은 생육(지상부 생산성)을 보였으며 수심 조건별 초고 성장에 있어 세 종 모두 통계적으로 유의미할 만큼의 차이는 확인되지 않은 것으로 보아 20 cm의 수위 조건은 세 식재종에게 침수스트레스로 인식되지 않았음을 확인할 수 있다(Fig. 3B).

유기질이 충분히 포함된 매질인 혼합 매질 조건의 경우 인산태 인($\text{PO}_4\text{-P}$)을 비롯한 양분 전반이 개별 매질 조건에 비해 높은 것으로 확인됐음에도 불구하고(Table 1) 세 종 모두 오히려 개별 매질 조건에서 높은 지상부 생산성을 보였다. 세 종 모두에서 확인된 얇은 수심 조건에 의한 생육 불량은 혼합 매질 조건에서 더욱 현저하게 나타났는데(Fig. 3) 이는 혼합 매질 조건이 양질의 양분을 제공하였다기보다 오히려

세 종의 생육을 저해하는 인자로 작용하였음을 의미한다. 혼합 매질의 moss peat가 높은 수준의 유기질을 함유하고 있는 것은 사실이나 moss peat의 주성분인 물이끼류에 다량 포함된 페놀성 화합물 등이 타감물질로 작용하여 식재 식물종의 생육을 저해한 것으로 판단된다(Sharma et al., 2009).

갈대(약 30 ramets/ m^2)나 애기부들(약 30 ramets/ m^2)에 비해 단위면적당 월등히 많은 수의 ramet을 만들어내는 식의 밀도 성장을 보인 줄(약 80 ramets/ m^2)은 높은 지상부 생산성을 보였을 뿐만 아니라 실험구를 거의 가득 메울 만큼 확장하였는데, 모니터링 마지막 해인 2013년, 실험구 면적 중 약 80% 정도의 높은 피도를 보였다(Fig. 4). 초기 식재 시 모든 종의 피도가 5% 이하였다는 사실과 마지막 해인 3년차, 갈대와 애기부들의 평균 피도가 각각 60%와 55%였음을 감안하면, 줄이 밀도 성장뿐만 아니라 지하경을 통한 확장 또한 굉장히 왕성하게 하였음을 알 수 있다. 많은 수의 ramet을 통한 밀도 성장과 지하경을 통한 활발한 영역 확장은 줄의 높은 지하부 생산성을 이뤄냈을 뿐만 아니라 인공습지 내 발생 가능한 잡초의 유입과 생육도 효과적으로 억제하였다(습지 조성 3년경과 후 거의 모든 실험구가 식재종 및 자연유입 잡초종 등에 의해 대부분 가득 메워졌다).

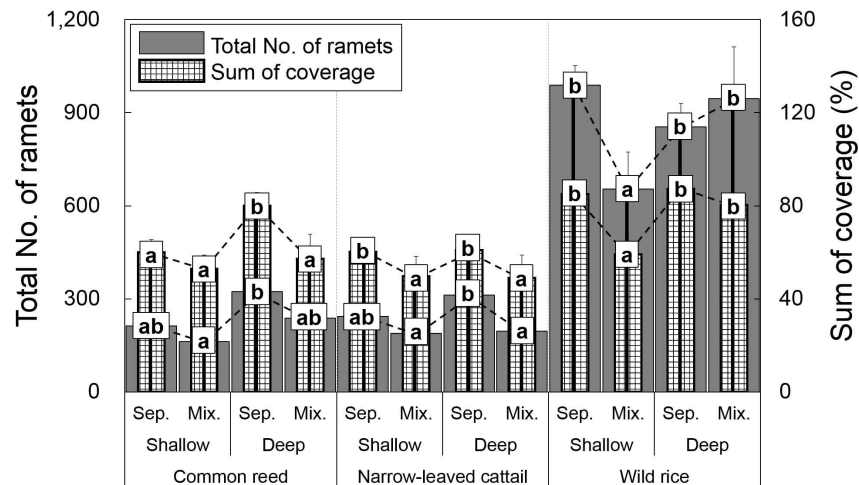


Fig. 4. Total number of ramets and sum of coverage of planted species according to environmental conditions (2013) (each $n = 3$). SE bars are shown.

3.2 다양한 환경조건에 따른 잡초 발생 및 생육 특성

개체별 크기에 있어 상대적으로 대형이고 다년생이며 생육이 뛰어난 식재종(갈대, 애기부들 및 줄)들에 비해 자연유입 잡초종들은 전반적으로 개체별 크

기가 작았으며 다년생 뿐만 아니라 일년생 초본류 또한 상당수 출현하였다(Fig. 6 and Appendix 1). 그렇기 때문에 잡초종의 발생 양상이나 생육 또한 상대적으로 식재종의 생육에 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. 식재종의 생육이 전반적으로 깊은 수위 조건과 개별

매질 조건에서 좋았던 것과는 반대로 잡초종들의 전반적인 생육수준은 그와 반대 조건인 얇은 수심, 특히 얇은 수심과 혼합 매질에서 높게 나타났다(Fig. 5). 특히 지상부 생산성의 경우 다른 환경조건에선 약 100 g/m^2 수준이었던 반면 상대적으로 식재종들의 생육이 저조했던 얇은 수심과 혼합 매질 조건에선 약 500 g/m^2 로 거의 다섯 배에 해당하는 높은 지상부 생산성이 확인되었다.

얇은 수심과 혼합 매질에서 잡초종들의 지상부 생산성이 높은 것은 자연발생 잡초종 중 높은 수준의

중요도(I.V., 평균 34.3)를 보인 고마리와 같은 종들이 상대적으로 얇은 수심을 선호하는 등의 생육 특성을 보이기 때문이기도 하나(Kim et al., 2013a), 식재종들의 생육이 상대적으로 불량한 만큼 역으로 잡초종들의 생육이 보장된 일종의 기회 생장 결과로 보는 것이 적합할 것이다(Zedler and Kercher, 2004). 식재종에서와 마찬가지로 잡초종에 있어서도 밀도(ramet 수)와 피도가 서로 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었으며, 더불어 밀도와 피도(Fig. 5B)는 지상부 생산성(Fig. 5A)과도 높은 연관을 보이는 것으로 확인되었다.

Fig. 5. Average above-ground dry weight (A, each $n = 3$), total number of ramets (B, each $n = 10$), and sum of coverage (each $n = 10$) in control plots with different environmental conditions (2013). SE bars are shown.

인공습지 내 수위 조건 및 매질 조건은 잡초종의 생육 전반뿐만 아니라 잡초종의 수나 구성 등에도 영향을 미칠 수 있다. 특히 고마리와 같은 일년생 초본들의 경우 초기 생육 환경이 발아나 유묘의 초기 정착에 절대적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2013a). 총 출현 잡초종 수의 경우 수위에 의한 영향 보다는 매질 조건에 의한 차이가 보다 명료하였으며 근소한 차이였으나 혼합 매질 조건(얇은 수심, 33종; 깊은 수심, 37종)에서 보다 개별 매질(얇은 수심, 40종; 깊은 수심, 41종)에서 더 다양한 잡초종들이 출현하였다. 이는 앞선 지상부 생산성에 관한 논의에서와 마찬가지로, 혼합 매질이 더 다양한 잡초가 생육하기에 적합한 환경이었기 때문이라기보다 혼합 매질 조건에서 식재종의 생육이 상대적으로 저조하였기 때문인 것으로 판단하는 것이 적합할 것이다.

조성환경별 발생 잡초종 수의 경우 개별 매질 조건에 비해 혼합 매질에서, 근소하지만 더 많은 수의 잡초종이 발생하였으며 특히 다년생(19.5 → 20.5)에 비해 일년생(15.5 → 20.0)의 수가 다소 증가하는 것으로 확인되었다(Fig. 6A). 개별 매질 조건에 비해 혼합 매질 조건에서 일년생 잡초종의 수가 증가했을 뿐만 아니라 중요도(103.5 → 111.0) 또한 함께 증가하

였다(Fig. 6B).

Moss peat가 포함돼 있는 혼합 매질 조건은 식재종의 생육을 전반적으로 저해하였으며 그 반대급부로 잡초종의 수나 밀도 등의 생육은 전반적으로 촉진시킨 것으로 확인되었다. 잡초종수나 중요도 등에 있어선 다년생에 비해 일년생의 증가폭이 근소하게 컸다. 혼합 매질 조건에선 양적으로 더 다양한 종류의 잡초가 발생하였을 뿐만 아니라 환경부에 의해 ‘생태계 교란 식물종’으로 지정된 12종 중 한 종인 가시상치가 다수 확인되었다. 가시상치는 특히 혼합 매질 조건과 얇은 수심 조건에선 7.1의 중요도로 상당수가 확인된 반면 개별 매질 조건에선 단 한 개체도 확인되지 않았다(Appendix 1).

이는 앞선 논의에서와 마찬가지로 혼합 매질 조건에서 식재종들의 생육이 다소 부진한 결과로서, 혼합 매질 조건에선 생태계 교란 종인 가시상치를 비롯한 다양한 잡초종들이 실험구 내에서 생육할 여지가 있음을 의미한다(Zedler and Kercher, 2004). 실제로 가시상치가 주로 발견되는 지역에선 돼지풀(가시상치와 마찬가지로 생태계 교란 식물종 중 한 종)을 비롯한 위해종이나 외래종 등이 공통으로 출현하는 경우가 많은 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2013c).

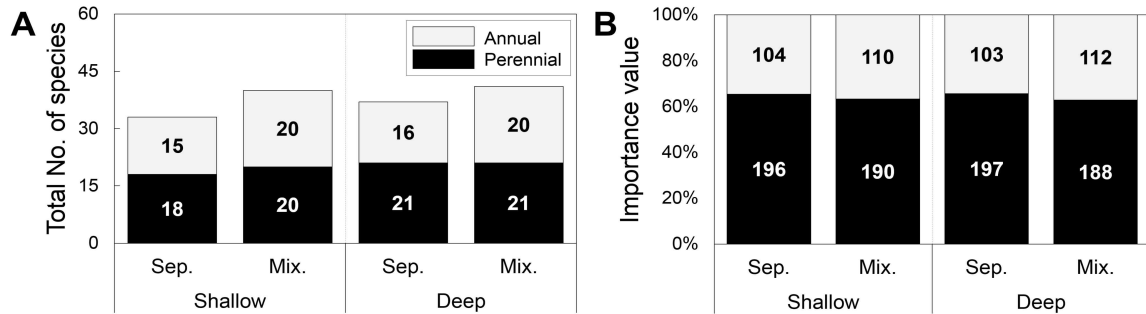


Fig. 6. Total number of species (A, each $n = 3$) and importance value (B, each $n = 3$) of species components (annuals and perennials) according to different environmental conditions.

3.3 높은 지상부 생산성을 위한 인공습지 조성 및 관리 방안

높은 생산성을 보장하는 인공습지 조성 및 관리 방안 마련을 위한 3년간의 모니터링 결과, 무엇보다 중요한 인자는 적절한 식물종의 선별(screening) 및 선발(selection)과 대상종의 높은 생육을 보장할 수 있는 환경요인이었으며 더불어 그러한 환경의 지속적인 유지·관리 또한 함께 병행될 때 더 높은 효율성의 인공습지가 될 수 있음을 확인하였다(Seo et al., 2006; Rejmánková, 2011). 본 연구수행을 통한 평가 결과, 높은 지상부 생산성 측면에선 수위 및 매질 등의 환경 조건에 상관없이 세 종 중 줄이 가장 효율적인 것으로 확인되었다. 줄은 4가지 환경 조건 모두에서 갈대나 애기부들에 비해 나은 생육을 보였으며 특히 지상부 생산성뿐만 아니라 초고 성장 및 지하경을 통한 확장 또한 탁월한 것으로 확인되었다. 양분이 충분치 못한 계곡수와 마사토 등으로 구성된 양분 조건이었음에도 불구하고 인공습지 조성 첫 해부터 상대적으로 좋은 생육을 보여준 줄은 자연적으로 유입되는 잡초종들과의 경쟁에 있어서도 우위를 점하였다.

식재종의 첫해 생육이 굉장히 중요한 것으로 확인되었는데 이는 식재종이 첫해에 빠른 정착과 생육을 보여줄 경우 자연유입 잡초종들의 생육을 효과적으로 억제하게 되며 이는 이듬해 생육에도 지속적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다(첫해 생육이 좋을 경우 그해 가을철, 지하경으로 양분 이행 또한 탁월하기 때문에 이듬해 생육이 더욱 촉진될 수 있다)(Asaeda and Siong, 2008). 특히 상대적으로 첫해 생육이 부진하였던 실험구에선 일년생 잡초들과 더불어 골풀이나 물달개비와 같은 다년생 잡초들이 다수 발생하였는데, 다년생 초본들의 경우 일년생과 달리 지하경이나 괴경 등과 같은 무성생식기관을 통해 매질 전반에 걸쳐 확장하기 때문에 이후 물리적인 제거가 굉장히 어렵

다(Lee et al., 2005). 줄을 식재한 실험구의 경우 갈대나 애기부들의 경우와 달리 첫해부터 생육이 굉장히 왕성하여 다년생 초본들의 유입이 상대적으로 저조하였으며 이후에도 그러한 양상이 지속적으로 관찰되었다.

뿐만 아니라 첫해 생육이 부진할 경우 본 연구를 통해서도 확인되었듯 고라니나 까치와 같은 야생동물들에 의한 피해를 받기 쉽다. 본 연구진은 그러한 야생동물에 의한 피해를 최소화하기 위해 철조망 등을 추가적으로 설치하는 등의 조치를 취하였으나, 줄과 같이 초기 생육이 탁월한 식물종을 선발하여 식재하는 것이 보다 효율적이고 친환경적인 방법이라 판단된다. 반드시 갈대와 애기부들과 같은 식물종을 식재해야 하는 상황이라면 벼를 이앙하는 것과 같이 온실과 같은 고온 환경에서 일정 수준 이상 생육 시킨 개체를 식재함으로써 야생동물이나 자연유입 잡초종에 대한 저항성을 높여주는 것 또한 고려될 수 있는 효과적인 대안일 것이다.

혼합 매질 중 moss peat의 경우 다량의 유기질이 포함되어 있음에도 불구하고 갈대나 애기부들 그리고 줄과 같은 대형정수식물의 생육엔 다소 부적합한 것으로 확인되었다. 이는 물이끼류에 의한 폐놀성 화합물 등에 따른 타감작용 효과인 것으로 판단되며(Sharma et al., 2009) 그러한 식재종의 생육 부진은 자연유입 잡초종들의 기회 성장을 가능케 하였다. 수위 조건의 경우 매질 조건 차이에 비해선 식재종이나 잡초종의 생육이나 발생 등에 큰 영향 미치지 못하였으나 전반적으로 20 cm 수위 조건이 5 cm 수위 조건에 비해 식재종들의 생육을 촉진시킨 것으로 판단된다. 5 cm 수위 조건의 경우 식재종들의 생육을 저해했을 뿐만 아니라 생태계 교란종이자 다른 위해종이나 외래종들과 혼재하는 특성이 강한 가시상지 등과 같은 육상 식물의 발생도 가능케 하여 여러모로 적절치 않은 환경 조건인 것으로 확인되었다.

우리나라에서 가장 넓은 면적의 인공습지라 할 수 있는 논외의 경우 높은 벼 생산성을 위해선 효율적인 잡초 방제가 핵심적이다. 최근 들어선 특징적인 제초법만을 선택적으로 적용하기보다 다양한 종류의 제초방안들을 통합적인 관리차원에서 체계적으로 적용하는 통합적 잡초 관리(integrated weed management)가 그 대안으로서 강조되고 있다(Swanton et al., 2008). 즉, 다양한 종류의 제초법들을 적시에 적용함으로써 전체적인 제초 효율을 극대화시키는 시스템이다. 벼의 생산성 극대를 위해 고안된 통합적 잡초 관리 시스템은 인공습지 내 정수식물의 생산성 제고에도 동일하게 적용가능하다.

앞서 언급하였듯 초기 생육이 빠른 줄이 가장 적절하나 바이오에탄올이나 사료 가공 등의 목적으로 갈대나 애기부들을 식재해야 하는 상황이라면, 보다 이른 시기에 발아시키거나 생장을 유도하여 어느 정도 생육을 진행시킨 뒤 식재함으로써 야생동물이나 자연유입 잡초종들에 대한 저항성을 높여줄 수 있다. 뿐만 아니라 깊은 수심환경은 상대적으로 초고 생장이 탁월한 식재종들의 경쟁력을 더욱 높여줄 수 있으며 반대로 가시상치와 같은 육상 식물들의 생육은 완전히 배제시킬 수 있다. 상대적으로 높은 양분 환경에서 더 탁월한 생육을 보이는 갈대나, 애기부들 그리고 줄과 같은 식물들의 높은 지상부 생산성을 위해선 일정 수준 이상의 양분을 포함하는 슬러지와 같은 형태의 물과 토양을 공급하는 것도 생산성 제고를 위한 방안 중 한가지일 것이다.

감사의 글

인공습지 조성 및 관리 전반에 많은 수고를 해주신 일송환경복원(주)의 주백 과장님, 김용 차장님과 이원삼 과장님께 깊은 감사를 드립니다. 습지 내 이화학적 특성 및 생산량 측정에 많은 도움을 준 연구실의 박지현과 남보은에게도 고마움을 전하는 바입니다. 본 연구는 환경부 산하 수생태복원사업단의 Eco-STAR project(EW33-08-12)의 연구비 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- Asaeda, T, Lan, NK and Manatunge, J (2005). Effects of self-thinning of shoots on the nutrient budgets of *Zizania latifolia*, *Hydrobiologia*, 537(1-3), pp. 47-52.
- Asaeda, T and Siong, K (2008). Dynamics of growth, carbon and nutrient translocation in *Zizania latifolia*, *Ecological Engineering*, 32(2), pp. 156-165.
- Cho, K-H and Kim, J-H (1994). Comparison of shoot growth in the populations of *Zizania latifolia* along water depth, *Korean J. of Ecology*, 17(1), pp. 59-67. [Korean Literature]
- Choung, Y and Roh, C-H (2002). Application of macrophytes for the treatment of drained water from a freshwater fish-farm: II. Growth and nutrient uptake on floating beds of two emergent plants, *Zizania latifolia* and *Typha angustata*, *Korean J. of Ecology*, 25(1), pp. 45-49. [Korean Literature]
- Costanza, R, d'Arge, R, de Groot, R, Farber, S, Grasso, M, Hannon, B, Limburg, K, Naeem, S, O'Neill, RV, Paruelo, J, Raskin, RG, Sutton, P and van den Belt, M (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, pp. 253-260.
- Gren, I-M, Folke, C, Turner, K and Batemen, I (1994). Primary and secondary values of wetland ecosystems, *Environmental and Resource Economics*, 4(1), pp. 55-74.
- Gross, MF, Hardisky, MA, Wolf, PL and Klemas, V (1991). Relationship between aboveground and belowground biomass of *Spartina alterniflora* (Smooth Cordgrass), *Estuaries and Coasts*, 14(2), pp. 180-181.
- Hong, M-G and Kim, JG (2013). Cutting efficiency using *Phragmites australis* culms according to content and timing of Indole-acetic acid treatment, *J. of Wetlands Research*, 15(1), pp. 35-41. [Korean Literature]
- Inoue, TM and Tsuchiya, T (2006). Growth strategy of an emergent macrophyte, *Typha orientalis* Presl, in comparison with *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* L., *Limnology*, 7(3), pp. 171-174.
- Kim, K-S and Kim, JS (2010). Optimization of ammonia percolation process for ethanol production from *Miscanthus sinensis*, *The Korean J. of Chemical Engineering*, 48(6), pp. 704-711. [Korean Literature]
- Kim, JJ, Kim, JS, Kim, LH and Yang, KC (2012). Characteristics of nutrient uptake by aquatic plant in constructed wetlands for treating livestock wastewater, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 121-130. [Korean Literature]
- Kim, DH, Kim, HT and Kim, JG (2013a). Effects of

- water level and soil type on the survival and growth of *Persicaria thunbergii* during early growth stages, *Ecological Engineering*, 61(2013), pp. 90-93.
- Kim, T, Jeong, J, Moon, S, Yang, H and Yang, B (2013b). Introduction to national mid-term fundamental plan for wetlands conservation and management, *J. of Wetlands Research*, 15(4), pp. 519-527. [Korean Literature]
- Kim, Y-H, Kil, J-H, Hwang, S-M and Lee, C-W (2013c). Spreading and distribution of *Lactuca scariola*, invasive alien plant, by habitat types in Korea, *Weed and Turfgrass Science*. 2(2), pp. 138-151. [Korean Literature]
- Korean Plant Names Index (KPNI) (2007). <http://nature.go.kr/kpni>
- Kwon, GJ, Lee, BA, Byun, CH, Nam, JM and Kim, JG (2006). The optimal environmental ranges for wetland plants : I. *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia*, *J. of Korean Environmental Restoration and Technology*, 9(1), pp. 72-88. [Korean Literature]
- Kwon, HJ, Kim, YS and Ryu, BY (2010). Selection of plant for constructing ecological wetlands on the rooftop greening, *Flower Research J.*, 18(2), pp. 117-124. [Korean Literature]
- Lee, TB (2003). *Coloured Flora of Korea*. Hayng Mun Sa.
- Lee, J-I, Choi, H-J, Jung, H-D and Choi, Y-S (2009). Evaluating economic feasibility of bio-ethanol production using fallow fields, *Korean J. of International Agriculture*, 21(2), pp. 102-110. [Korean Literature]
- Lee, SG, Kim, DS, Im, IB and Pyon, JY (2005). Growth and yield of rice as affected by different densities of perennial weeds and prediction of rice yield loss in paddy fields, *Korean J. of Weed Science*. 25(4), pp. 295-303. [Korean Literature]
- Lee, S and Cho, Y (2011). A study on water quality improvement of Hoeya dam reservoir using ecological constructed wetland, *J. of Wetlands Research*, 13(3), pp. 489-497. [Korean Literature]
- Lee, J, Kang, C, Lee, S and Kim, L-H (2011). Application of free water surface constructed wetland for NPS control in livestock watershed area, *J. of Wetlands Research*, 13(3), pp. 481-488. [Korean Literature]
- Lee, G-J and Sung, K (2013). Effects of floating and submerged plants on important water environments of wetland, *J. of Wetlands Research*, 15(3), pp. 289-300. [Korean Literature]
- Mauchamp, A, Blanch, S and Grillas, P (2001). Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings, *Aquatic Botany*, 69(2-4), pp. 147-164.
- Mitsch, WJ and Winson, RF (1996). Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design, *Ecological Application*, 6(1), pp. 77-83.
- Nam, GS, Pae, YS, Kim, HJ, Lee, SJ and Lee, GS (2004). Application of subsurface flow wetland using the *Phragmites australis* for water quality improvement of the agricultural reservoir, *J. of Korean Wetlands Society*, 6(4), pp. 59-69. [Korean Literature]
- Overton, WS and Stehman, SV (1996). Desirable design characteristics for long-term monitoring of ecological variables, *Environmental and Ecological Statistics*, 3(4), pp. 349-361.
- Oh, YC (2006). *Korean Coracoideae of Cyperaceae*. Sungshin Women's University Press.
- Rejmánková, E (2011). The role of macrophytes in wetland ecosystems, *J. of Ecology and Field Biology*, 34(4), pp. 333-345.
- Seo, D-C, Jang, B-I, Jo, I-S, Lim, S-C, Lee, H-J, Cho, J-S, Kim, H-C and Heo, J-S (2006). Selection of optimum water plant in constructed wetland by natural purification method for municipal sewage treatment, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 25(1), pp. 25-33. [Korean Literature]
- Seo, S, Kim, WH, Jung, MW, Lee, SH, Kim, CM, Choi, JH, Kim, JS, Kim, HY and Lee, JK (2011). Forage quality and production of *Phragmites communis* as a native grass according to growth stages, *J. of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, 31(2), pp. 151-158. [Korean Literature]
- Seo, S, Kim, WH, Jung, MW, Park, HS, Shim, JJ, Park, JG, Sung, HG, Kim, JD and Lee, JK (2012). Studies on utilization survey and forage quality of *Phragmites communis* and *Miscanthus sinensis* as native grasses in Paju and Ansan district 2010, *J. of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, 32(2), pp. 109-116. [Korean Literature]
- Sharma, A, Bargalis, K and Pande, N (2009). The

- allelopathic potential of bryophyte extract on seed germination and seedling growth of *Bidens biternata*, *Nature Science*, 7(6), pp. 30-38.
- Swanton, CJ, Mahoney, KJ, Chandler, K and Gulden, RH (2008). Integrated weed management: knowledge-based weed management systems, *Weed Science*, 56(1), pp. 168-172.
- Tanner, CC (1996). Plants for constructed wetland treatment systems – A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species, *Ecological Engineering*, 7(1), pp. 59-83.
- Vretare, V, Weisner, SEB, Strand, JA and Granéli, W (2001). Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth, *Aquatic Botany*, 69(2-4), pp. 127-145.
- Yi, YM, Kang, D and Sung, K (2009). Germination experiment using natural wetland soil for introducing non-emergent plants into a constructed wetland, *J. of Wetlands Research* 11(1), pp. 39-48. [Korean Literature]
- Zedler, JB and Kercher, S (2004). Causes and consequences of invasive plants in wetlands: opportunities, opportunists, and outcomes, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(5), pp. 431-452.
- 논문접수일 : 2013년 11월 25일
- 심사의뢰일 : 2013년 11월 28일
- 심사완료일 : 2014년 01월 06일

Appendix 1. Flora of emerged natural weeds according to environmental conditions (2013). Emerged species were listed according to importance value (I.V.)

Shallow water level (5 cm)				Deep water level (20 cm)			
Separated (n = 10)		Mixed (n = 10)		Separated (n = 10)		Mixed (n = 10)	
Korean name (scientific name)	I.V.	Korean name (scientific name)	I.V.	Korean name (scientific name)	I.V.	Korean name (scientific name)	I.V.
사마귀풀(<i>Aneilema keisak</i>)	46.4	사마귀풀(<i>Aneilema keisak</i>)	49.7	물달개비(<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	42.1	사마귀풀(<i>Aneilema keisak</i>)	31.8
고마리(<i>Persicaria thunbergii</i>)	40.2	고마리(<i>Persicaria thunbergii</i>)	40.3	사마귀풀(<i>Aneilema keisak</i>)	33.9	고마리(<i>Persicaria thunbergii</i>)	30.2
물달개비(<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	31.0	굴풀(<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>)	27.1	울쟁이슬(<i>Blyxa japonica</i>)	28.6	쇠털골(<i>Eleocharis acicularis</i>)	21.4
미국가막사리(<i>Bidens frondosa</i>)	27.3	닭의장풀 (<i>Commelina communis</i>)	18.3	고마리(<i>Persicaria thunbergii</i>)	26.5	기장대풀(<i>Isachne globosa</i>)	21.2
개첩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	27.2	개첩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	17.4	쇠털골(<i>Eleocharis acicularis</i>)	24.6	미국가막사리(<i>Bidens frondosa</i>)	20.7
닭의장풀 (<i>Commelina communis</i>)	25.1	미국가막사리(<i>Bidens frondosa</i>)	12.6	미국가막사리(<i>Bidens frondosa</i>)	19.0	개첩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	19.8
돌콩(<i>Glycine soja</i>)	12.0	물달개비(<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	12.4	개첩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	15.2	울쟁이슬(<i>Blyxa japonica</i>)	17.1
여뀌바늘(<i>Ludwigia prostrata</i>)	10.4	왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i>)	9.9	울쟁이자리(<i>Blyxa aubertii</i>)	14.2	돌콩(<i>Glycine soja</i>)	16.9
굴풀(<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>)	9.3	여뀌바늘(<i>Ludwigia prostrata</i>)	8.8	별날개굴풀 (<i>Juncus diastrophanthus</i>)	12.3	물달개비(<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	15.2
울쟁이슬(<i>Blyxa japonica</i>)	8.4	쑥(<i>Artemisia princeps</i>)	8.1	닭의장풀 (<i>Commelina communis</i>)	11.2	굴풀(<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>)	14.2
돌피(<i>Echinochloa crusgalli</i>)	7.6	돌콩(<i>Glycine soja</i>)	8.0	새팔(<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i>)	10.5	울쟁이자리(<i>Blyxa aubertii</i>)	12.2
기장대풀(<i>Isachne globosa</i>)	7.2	돌피(<i>Echinochloa crusgalli</i>)	7.7	굴풀(<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>)	8.9	닭의장풀 (<i>Commelina communis</i>)	9.7
울쟁이자리(<i>Blyxa aubertii</i>)	4.7	가시상치(<i>Lactuca serriola</i>)	7.1	여뀌바늘(<i>Ludwigia prostrata</i>)	6.1	논둑외풀(<i>Lindernia micrantha</i>)	8.9
별날개굴풀 (<i>Juncus diastrophanthus</i>)	4.7	좁고추나물(<i>Hypericum laxum</i>)	6.9	돌콩(<i>Glycine soja</i>)	4.8	파대가리(<i>Kyllinga brevifolia</i>)	8.9
왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i>)	4.6	기장대풀(<i>Isachne globosa</i>)	5.0	등예풀(<i>Doparium junceum</i>)	3.9	별날개굴풀 (<i>Juncus diastrophanthus</i>)	5.7
울쟁이고랭이 (<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotaru</i>)	3.4	도깨비사초(<i>Carex dickinsii</i>)	4.7	도깨비사초(<i>Carex dickinsii</i>)	3.9	돌피(<i>Echinochloa crusgalli</i>)	5.1
미나리(<i>Oenanthe javanica</i>)	3.3	미나리(<i>Oenanthe javanica</i>)	4.7	청비녀굴풀(<i>Juncus papillosus</i>)	3.6	도깨비사초(<i>Carex dickinsii</i>)	4.0
도깨비사초(<i>Carex dickinsii</i>)	3.2	별날개굴풀 (<i>Juncus diastrophanthus</i>)	4.6	파대가리(<i>Kyllinga brevifolia</i>)	3.3	좁고추나물(<i>Hypericum laxum</i>)	3.4
쑥(<i>Artemisia princeps</i>)	2.7	개망초(<i>Erigeron annuus</i>)	4.4	기장대풀(<i>Isachne globosa</i>)	3.0	큰잎부들(<i>Typha latifolia</i>)	2.7
등예풀(<i>Doparium junceum</i>)	2.5	쇠털골(<i>Eleocharis acicularis</i>)	4.2	돌피(<i>Echinochloa crusgalli</i>)	2.8	새팔(<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i>)	2.5
버드나무(<i>Salix koreensis</i>)	2.5	파대가리(<i>Kyllinga brevifolia</i>)	3.6	왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i>)	2.5	넙은잎미꾸리낙시 (<i>Persicaria nipponensis</i>)	2.4
보풀(<i>Sagittaria aginashi</i>)	2.4	논둑외풀(<i>Lindernia micrantha</i>)	3.5	쑥(<i>Artemisia princeps</i>)	2.1	개망초(<i>Erigeron annuus</i>)	2.2
줄(<i>Zizania latifolia</i>)	2.2	울쟁이슬(<i>Blyxa japonica</i>)	3.2	방울고랭이(<i>Scirpus wichurae</i> var. <i>asiaticus</i>)	1.7	왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i>)	2.1
벚풀(<i>Sagittaria trifolia</i>)	1.8	줄(<i>Zizania latifolia</i>)	3.1	넙은잎미꾸리낙시 (<i>Persicaria nipponensis</i>)	1.6	버드나무(<i>Salix koreensis</i>)	2.0
쇠털골(<i>Eleocharis acicularis</i>)	1.7	망초(<i>Erigeron canadensis</i>)	2.9	벚풀(<i>Sagittaria trifolia</i>)	1.6	청비녀굴풀(<i>Juncus papillosus</i>)	1.9
환삼덩굴(<i>Humulus japonicus</i>)	1.6	청비녀굴풀(<i>Juncus papillosus</i>)	2.8	개망초(<i>Erigeron annuus</i>)	1.5	쑥(<i>Artemisia princeps</i>)	1.8
달맞이꽃(<i>Oenothera biennis</i>)	1.5	울쟁이고랭이 (<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotaru</i>)	2.0	울쟁이고랭이 (<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotaru</i>)	1.5	방울고랭이(<i>Scirpus wichurae</i> var. <i>asiaticus</i>)	1.6
강아지풀(<i>Setaria viridis</i>)	1.3	모기방동사니(<i>Cyperus haspan</i>)	1.8	좁고추나물(<i>Hypericum laxum</i>)	1.4	여뀌바늘(<i>Ludwigia prostrata</i>)	1.5
방동사니(<i>Cyperus amuricus</i>)	1.2	방울고랭이(<i>Scirpus wichurae</i> var. <i>asiaticus</i>)	1.7	모기방동사니(<i>Cyperus haspan</i>)	1.3	환삼덩굴(<i>Humulus japonicus</i>)	1.4
주름조개풀 (<i>Opismenus undulatifolius</i>)	1.2	등예풀(<i>Doparium junceum</i>)	1.6	논둑외풀(<i>Lindernia micrantha</i>)	1.3	울쟁이고랭이 (<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotaru</i>)	1.4
파대가리(<i>Kyllinga brevifolia</i>)	1.2	거북꼬리(<i>Boehmeria tricuspidis</i>)	1.5	방동사니대가리 (<i>Cyperus sanguinolentus</i>)	1.0	거북꼬리(<i>Boehmeria tricuspidis</i>)	1.3
개구리밥 (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	-	환삼덩굴(<i>Humulus japonicus</i>)	1.5	버드나무(<i>Salix koreensis</i>)	1.0	망초(<i>Erigeron canadensis</i>)	1.3
물개구리밥 (<i>Azolla imbricata</i>)	-	질경이(<i>Plantago asiatica</i>)	1.5	세대가리 (<i>Lipocarpha microcephala</i>)	1.0	애기부들(<i>Typha angustifolia</i>)	1.2
		새팔(<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i>)	1.3	속속이풀(<i>Rorippa islantica</i>)	1.0	질경이택사 (<i>Alisma plantago-aquatica</i> var. <i>orientale</i>)	1.2
		주름조개풀 (<i>Opismenus undulatifolius</i>)	1.3	줄(<i>Zizania latifolia</i>)	1.0	토끼풀(<i>Trifolium repens</i>)	1.1
		물질경이(<i>Otelia alismoides</i>)	1.2	개구리밥 (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	-	바랭이(<i>Digitaria sanguinalis</i>)	1.1
		달맞이꽃(<i>Oenothera biennis</i>)	1.2	검정말 (<i>Hydrilla verticillata</i>)	-	가시상치(<i>Lactuca serriola</i>)	1.0
		버드나무(<i>Salix koreensis</i>)	1.2			미나리(<i>Oenanthe javanica</i>)	0.9
		쇠뜨기(<i>Equisetum arvense</i>)	1.1			모기방동사니(<i>Cyperus haspan</i>)	0.7
						쇠뜨기(<i>Equisetum arvense</i>)	0.5
						개구리밥 (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	-
Total No. of emerged species	33	Total No. of emerged species	40	Total No. of emerged species	37	Total No. of emerged species	41

The I.V. (importance value) of each species was calculated as the sum of relative density, relative coverage, and relative frequency. Results from the control plots (no plantation) were also included.